

О. П. ІВАНІЦЬКАЯ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

ТИПІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ МОДУЛІВ З ОДНОШТОКОВИМ ГІДРАВЛІЧНИМ ЦИЛІНДРОМ

Уся різноманітність гідравлічних дросельних приводів з гідравлічними одноштоковими циліндрами може бути зведена до 16 гідравлічних модулів залежно від напрямку руху поршня, напрямку дії навантаження, наявності або відсутності дроселя (або регулятора витрати) і розташування його в напірній або зливній магістралях. Наведені математичні моделі 16 основних типів гідравлічних модулів з гідравлічним вертикальним та горизонтальним одноштоковим циліндром.

Ключові слова: гідропривід, гідравлічний модуль, одноштоковий гідроциліндр, гідродинамічна модель.

Вступ. Гідравлічні приводи широко використовуються в сучасних технологічних машинах. Тому питання типізації та математичного моделювання їх робочих процесів є актуальним.

Мета статті. Метою даної статті є розробка математичних моделей для робочого процесу гідравлічних модулів з одноштоковим гідравлічним циліндром (ГЦ) та їх типізація.

Поняття гідравлічного модуля. Будемо вважати, що будь-яку гідравлічну схему можна представити у вигляді гідравлічного блоку (модуля), який складається з ГЦ, гідравлічного розподільника (у загальному випадку двопозиційного чотирьох лінійного), дроселя зі зворотним клапаном, напірної магістралі, з'єднаної з насосом, зливальної магістралі, з'єднаної з баком (див. модуль № 1 – 16 табл.1.) [1].

Усі гідравлічні приводи з одноштоковим ГЦ можна поділити на приводи з вертикально та горизонтально орієнтованими циліндрами. Вертикально орієнтовані ГЦ, в свою чергу, діляться на ті, у яких шток орієнтований до гори та ті, у яких шток орієнтований до низу.

В роботах [1 – 4] були розглянуті питання модулювання та типізації гідравлічних приводів з горизонтальним [4] та вертикальним ГЦ, у якому шток є орієнтованим до гори [2] та орієнтованим до низу [3].

Усі наявні гідравлічні приводи поступального руху як з горизонтальним так і з вертикальним одноштоковим ГЦ можливо звести до 16 типових гідравлічних модулів.

У перших чотирьох модулях здійснюється втягування штока ГЦ (див. табл. 1). Напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока.

Гідравлічні модулі з п'ятого по восьмий (див. табл. 1) здійснюють вису-

вання штока ГЦ. Напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ.

Гідравлічні модулі з дев'ятого по дванадцятий здійснюють втягування штока ГЦ (див. табл. 1). Напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ.

Гідравлічні модулі із тринадцятого по шістнадцятий (див. табл. 1) здійснюють висування штока ГЦ. Напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ.

Розглянуті гідравлічні модулі одноштоковим ГЦ мають наступні особливості схеми (див. табл. 1):

- модуль №1: шток втягується, дроселі відсутні, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока;
- модуль №2: шток втягується, дросель установлений у напірній магістралі, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №3: шток втягується, дросель установлений у зливній магістралі, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №4: шток втягується, дроселі встановлені в напірній і зливній магістралях, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №5: шток висувається, дроселі відсутні, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №6: шток висувається, дросель установлений у напірній магістралі, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №7: шток висувається, дросель установлений у зливній магістралі, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №8: шток висувається, дроселі встановлені в напірній і зливній магістралях, напрямок навантаження співпадає з втягуванням штока ГЦ;
- модуль №9: шток втягується, дроселі відсутні, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №10: шток втягується, дросель установлений у напірній магістралі, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №11: шток втягується, дросель установлений у зливній магістралі, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №12: шток втягується, дроселі встановлені в напірній і зливній магістралях, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №13: шток висувається, дроселі відсутні, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №14: шток висувається, дросель установлений у напірній магістралі, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №15: шток висувається, дросель установлений у зливній магістралі, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ;
- модуль №16: шток висувається, дроселі встановлені в напірній і зливній магістралях, напрямок навантаження співпадає з висуванням штока ГЦ.

Таблиця 1 Математичні моделі гідравлічних модулів з горизонтальним ГЦ

№	Гідравлічна схема модуля з горизонтальним ГЦ	Гідравлічна схема модуля з вертикальним ГЦ (пток орієнтовано до низу)	Гідравлічна схема модуля з вертикальним ГЦ (пток орієнтовано до гори)
1	2	3	4
1			
2			
3			
4			
5			
6			

1	2	2	4
7			
8			
9			
10			
11			
12			

1	2	3	4
13			
14			
15			
16			

Математичні моделі типових гідравлічних модулів з одноштоковим гідравлічним циліндром. При побудові математичних моделей будемо використовувати наступні припущення [5]: відсутні витоки робочої рідини (PP); сухе тертя дорівнює нулю; хвильові процеси в трубопроводах відсутні; температура PP постійна (тобто постійними вважаємо коефіцієнти кінематичної в'язкості й сили тертя); втрати на тертя в магістралях і в гідравлічній апаратурі не враховуються; тиск у зливній магістралі дорівнює нулю; радіальний зазор між втулкою й золотником у золотникових розподільниках

приймаємо рівним нулю; робочі кромки вважаємо гострими; модуль E пружності РР приймаємо постійним.

1. *Рівняння нерозривності.* Рівняння нерозривності виражає закон збереження маси рідини, що рухається. Для двох поперечних перерізів того самого потоку ідеальної рідини рівняння нерозривності можна записати у вигляді:

$$Q_1 = Q_2 \text{ або } V_1 S_1 = V_2 S_2, \quad (1)$$

де $Q_1, Q_2, V_1, V_2, S_1, S_2$ – витрати, швидкості РР й площі поперечних перерізів 1–1 і 2–2.

Так, наприклад, для гідравлічної системи із дросельним способом регулювання швидкості (модуль 2, табл. 1) при правій робочій позиції розподільника рівняння нерозривності має вигляд:

$$Q_H = Q_{ps} = Q_{op} = Q_{us}; Q_{un} = Q_{pn} = Q_{\phi}, \quad (2)$$

де Q_H – витрата насоса; Q_{ps}, Q_{pn} – витрата через розподільник; Q_{us} – витрата штокової порожнини ГЦ; Q_{un} – витрата поршневої порожнини ГЦ; Q_{op} – витрата через дросель; Q_{ϕ} – витрата, що надходить із ГЦ через розподільник у бак.

2. *Рівняння динаміки виконавчого органа* гідравлічного приводу, що описує рух поршня ГЦ як твердого тіла, відповідно до законів механіки, а саме на основі *принципу Даламбера* (згідно з яким сила інерції дорівнює різниці активних сил і сил опору), запишемо на прикладі модуля 2 (табл. 1) у вигляді:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = p_s F_s - p_n F_n + R - R_t, \quad (3)$$

де m – приведена до поршня маса рухливих частин і РР; p_s, p_n – тиск у порожнинах гідроциліндра; F_s, F_n – ефективні площі поршня поршневої і штокової порожнини ГЦ; R – навантаження; R_t – сили тертя; y – переміщення поршня.

3. *Рівняння витрат РР через апаратуру.* Для ГЦ, з урахуванням стисливості РР, рівняння витрати, наприклад, для модуля 2 (табл. 1) має вигляд:

$$Q_{us} = F_s V + \frac{(W_{0s} + F_s y)}{E} \frac{dp_s}{dt}; Q_{un} = F_n V - \frac{(W_{0n} - F_n y)}{E} \frac{dp_n}{dt}, \quad (4)$$

де V – швидкість поршня; W_{0s}, W_{0n} – початковий об'єм РР у відповідних порожнинах ГЦ.

Для гідравлічної апаратури, у якій відбувається дроселювання РР (дроселі, розподільники), рівняння витрати має вигляд:

$$Q_{dp} = \mu f_d \sqrt{2\Delta p / \rho}, \quad Q_p = \mu \pi d_z x_z \sqrt{2\Delta p / \rho}, \quad (6)$$

де Q_{dp}, Q_p – витрата через дросель та розподільник; μ – коефіцієнт витрати; f_d – площа прохідного перетину дроселя; Δp – перепад тиску на щілині гідроапаратури; ρ – густина РР; d_z – діаметр золотника розподільника; x_z – величина відкриття вікна розподільника.

У табл. 2 наведені математичні моделі типових гідравлічних модулів з горизонтальним та вертикальним одноштоковим ГЦ, які складені на підставі розглянутих вище рівнянь нерозривності, руху рухливих елементів і рівнянь витрати через гідравлічну апаратуру.

Таблиця 2 Математичні моделі типових гідравлічних модулів з одноштоковим ГЦ

№ модуля	Математична модель модуля
1	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
2	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot f_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
3	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot f_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
4	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot f_{d1} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot f_{d2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$

1	2
5	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
6	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot f_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
7	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot f_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
8	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_n}{dt} = (-\mu \cdot f_{d1} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot f_{d2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
9	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$

1	2
10	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (p_s F_s - p_n F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu f_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} (p_H - p_s) - V F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
11	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot f_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
12	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (p_s \cdot F_s - p_n \cdot F_n - R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (\mu \cdot f_{d1} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_s) - V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} + F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(-\mu \cdot f_{d2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_n + V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} - F_n \cdot y}. \end{cases}$
13	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
14	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot f_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$

1	2
15	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot f_d \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot \pi \cdot d_z \cdot x_z \sqrt{\frac{2}{\rho}} (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$
16	$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \cdot (-p_s \cdot F_s + p_n \cdot F_n + R - Rt); \\ \frac{dp_s}{dt} = (-\mu \cdot f_{d1} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot p_s + V \cdot F_s) \cdot \frac{E}{W_{0s} - F_s \cdot y}; \\ \frac{dp_n}{dt} = \left(\mu \cdot f_{d2} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot (p_H - p_n) - V \cdot F_n \right) \cdot \frac{E}{W_{0n} + F_n \cdot y}. \end{cases}$

Висновки. Усе різноманіття гідравлічних дросельних приводів з одноштоковим ГЦ, як горизонтальні, так і вертикальні, з штоками, які орієнтовані догори чи донизу, можна звести до 16 типових гідравлічних модулів залежно від напрямку руху поршня і штока ГЦ, напрямку дії навантаження, наявності дроселя (або регулятора витрати) і розташування його в напірній або зливній магістралях.

Для опису робочого процесу гідравлічних приводів використовуються основні види рівнянь: нерозривності; руху рухливих елементів; витрат рідини через апаратуру.

Наведені математичні моделі 16 основних гідравлічних модулів з одноштоковим ГЦ, які описують роботу будь-якого можливого гідравлічного силового гідроприводу поступального руху.

Список літератури: 1. *Іваницька Е.П.* К вопросу о типизации гидравлических приводов // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – № 4 / 10 (40). – С. 37 – 40. 2. *Іваницька Е.П.* Математические модели гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – №5 / 6 (41). – С. 38 – 41. 3. *Іваницька О.П.* Про моделювання гідравлічних модулів з вертикальним гідравлічним циліндром // Вісник НТУ «ХПІ», 2011. – Вип.13. С. 89 – 96. 4. *Іваницька О.П.* Про моделювання гідравлічних модулів з горизонтальним одноштоковим гідравлічним циліндром // Вісник НТУ «ХПІ», 2012. – Вип.2. С. 107 – 114. 5. *Лур'є З.Я., Іваницька О.П.* Моделювання та динаміка гідравлічних систем: Навчальний посібник. – Харків: ХДПУ, 2000. – 132 с.

Надійшла до редакції 22.02.2013

Типізація та моделювання гідравлічних модулів з одноштоковим гідравлічним циліндром / О. П. Іваніцька // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – №5 (979). – С. 84-94. Бібліогр.: 5 назв.

Все разнообразие гидравлических дроссельных приводов с гидравлическими одноштоковыми цилиндрами можно свести к 16 гидравлическим модулям в зависимости от направления движения поршня, направления действия нагрузки, наличия или отсутствия дросселя (или регулятора расхода) и расположения его в напорной или сливной магистралях. Приведены математические модели 16 основных типов гидравлических модулей с гидравлическим вертикальным и горизонтальным одноштоковым цилиндром.

Ключевые слова: гидропривод, гидравлический модуль, одноштоковый гидроцилиндр, гидравлическая модель.

All variety of hydraulic throttle actuators with hydraulic cylinders with a rod can be reduced to 16 hydraulic modules, depending on the direction of movement of the piston, the direction of the load, the presence or absence of restriction (or flow control), and its location in the inlet and drain pipes. Mathematical models of the 16 main types of hydraulic modules with vertical and horizontal hydraulic cylinder with a piston rod.

Key words: hydroactuator, hydraulic module, hydraulic cylinders with a rod, hydraulic model.

Е. В. КОЛІСНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;

М. В. НАЙДА, асп., СумДУ, Суми;

Ю. Я. ТКАЧУК, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;

С. О. ХОВАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. викл., СумДУ, Суми

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПРОГРАМНИХ ПАКЕТІВ ДЛЯ ОДНО- ТА ДВОКОМПОНЕНТНОЇ СУМІШІ

Надано аналіз стану та тенденція використання програмних продуктів для одно- та двокомпонентної суміші. Представлене моделювання нестискуваних течій рідини і газу та течій рідини з малою кількістю газу. Зроблений висновок, що сучасні комерційні програмні продукти дозволяють адекватно моделювати складні фізичні ефекти різної природи.

Ключові слова: гідромашина, програмний продукт, моделювання, течія рідини, чисельний розрахунок.

Вступ. Із самого початку появи гідромашин перед проектувальниками повстало завдання – спрогнозувати параметри роботи створюваної ними машини до того, як креслення будуть передані у виробництво. Стосовно лопатевих гідромашин це завдання ускладнювалося тим, що їхні основні параметри визначаються картиною течії рідини у середині проточної частини, а ця